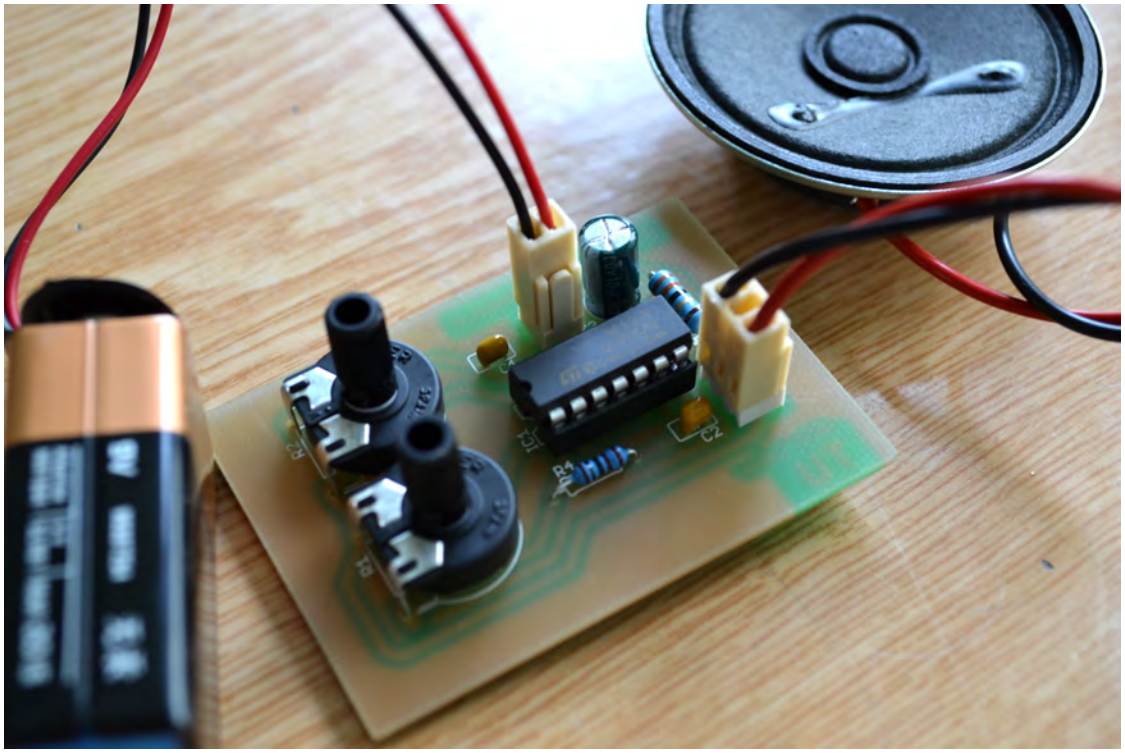
Projekt:
Atari Punk Console
Der Mini-Synthesizer



das Elektrotechnik- und Informatik-Labor der Fakultät IV
http://www.dein-labor.tu-berlin.de

Handout zum Projekt:

Atari Punk Console

Der Mini-Synthesizer

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 1

2 Elektrotechnik: Grundlagen 1

3 Der Synthesizer 6

4 Der Lautsprecher 8

5 Die Schaltung 9

6 Das Löten der eigenen Schaltung 11

1 Einleitung

Die Atari Punk Console basiert auf einer Schaltung von Forrest M. Mims III, die in seinem Elektronik-Lehrheft „Engineer's Notebook: Integrated Circuit Applications“ 1980 zum ersten Mal veröffentlicht wurde. Sie ist eine einfache, kleine Schaltung, die Töne erzeugen kann und damit die Neugierde auf eigenes Basteln an elektrischen Schaltungen wecken soll. Der Name „Atari Punk Console“ wurde ihr erst später gegeben, in Anlehnung an die Klänge der Atari-Computer aus den 80ern.

2 Elektrotechnik: Grundlagen

Die Elektrotechnik finden wir an jeder Straßenecke. Überall blinkt es, große Leuchttafeln erzählen uns, was wir als nächstes kaufen sollen und zu Hause flimmern im Fernseher die neuesten Nachrichten vor sich hin. Aber auch in der Natur finden wir die Elektrotechnik: wenn die grauen, dunklen Wolken am Himmel ihre Blitze zucken lassen.
Richtig, ein Blitz ist reine Elektrizität. Die Elektrotechnik hat sich zur Aufgabe gemacht, die Elektrizität näher zu erforschen und dessen Auswirkungen zum Vorteil der Menschheit einzusetzen. Wir lassen damit Lampen leuchten, Motoren drehen oder Musik erklingen.

WICHTIG
Die **Elektrotechnik** beschäftigt sich mit der Änderung von Strom und Spannung.

Stromstärke Wenn wir von einer „Strömung im Fluss" sprechen, weiß jeder, was damit gemeint ist. Wenn ein Fluss schnell fließt, dann hat er eine hohe Strömung. Das Gleiche gibt es in der Elektrotechnik. Statt Wasser haben wir ganz kleine Teilchen, die sich in einem Draht bewegen. Wir nennen diese Teilchen *Ladungsträger* bzw. Elektronen und deren Bewegung *Strom*. Fließen viele Ladungsträger, dann sprechen wir von einer hohen Stromstärke.

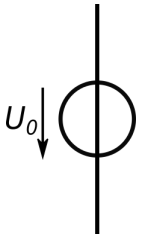
> **WICHTIG**
> Wenn sich in der Elektrotechnik Ladungsträger bewegen, spricht man von einem **Strom**.
> Formelzeichen: *I* für die **Stromstärke**
> Einheit: *A* (Ampere) zum Andenken an den Physiker *André Marie Ampère*.

Spannung Wie fließt ein Fluss? Natürlich nur bergab, denn auf das Wasser wirkt eine Kraft. Die Kraft ist die Anziehungskraft der Erde und ist die Ursache der Strömung. Alles will nach unten, ein Apfel, den ich fallen lasse oder das Wasser, welches bergab fließt. In der Elektrotechnik gibt es ebenfalls eine solche Ursache, diese nennen wir Spannung. Und wenn wir eine Spannung anlegen, dann bewegen sich Ladungsträger, also fließt ein Strom.

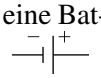
> **WICHTIG**
> Die elektrische **Spannung** ist die Ursache für die Bewegung von Ladungsträgern.
> Formelzeichen: *U*
> Einheit: *V* (Volt) zum Andenken an den Physiker *Alessandro Volta*.

Der Fluss benötigt außer der Kraft, die ihn zum Fließen bewegt, eine Begrenzung. Nämlich das Flussbett, in dem er fließen kann. Der elektrische Strom benötigt hierfür leitende Materialien, wie zum Beispiel Draht. So können wir unterschiedliche elektrische Bauteile miteinander verbinden und es entsteht ein Stromkreis.

Der Schaltplan einer elektrischen Schaltung ist dabei eine Art Vorschrift, wie Bauteile miteinander verbunden sind, um bestimmte Wirkungen zu erzielen.
In der Elektrotechnik gibt es bestimmte Schaltzeichen, damit jeder elektrotechnisch Begeisterte auf der Welt Schaltpläne lesen kann. Hier ist das Symbol für eine allgemeine Spannungsquelle:



Viele elektronische Geräte haben als Spannungsquelle einen Akkumulator (Akku) oder eine Batterie. Dabei gibt es immer einen positiven Pol (Plus) und einen negativen Pol (Minus).



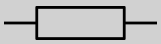
Wir haben Spannung und Strom kennengelernt. Jetzt brauchen wir noch einige elektronische Bauteile, die es uns ermöglichen Strom und Spannung zu ändern.

Widerstand

Widerstand ist, wenn man sich gegen etwas wehrt! Das Bauelement *Widerstand* macht dies auch, es "wehrt sich" gegen den Stromfluss. Damit wir uns das besser vorstellen können, denken wir an einen Wasserschlauch. Das Wasser entspricht wieder unseren Ladungsträgern. Halten wir den Schlauch schräg, dann sprudelt das Wasser ungehindert aus dem Schlauch.

Jetzt stellen wir uns vor, wir stellen uns auf den Schlauch! Das Wasser hört sofort auf zu fließen. Nehmen wir den Fuß langsam herunter, läuft das Wasser erst langsam und dann immer schneller! Der Fuß stellt ein Widerstand für das Wasser dar.

WICHTIG

Der elektrische **Widerstand** gibt an, wie stark der elektrische Strom gebremst wird.
Formelzeichen: R
Einheit: Ω (Ohm) zum Andenken an den Physiker *Georg Simon Ohm*.
Schaltzeichen: 

Zwischen Stromstärke, Spannung und Widerstand gibt es einen Zusammenhang: das **Ohm'sche Gesetz**. Dieses besagt, dass sich Strom und Spannung immer in einem Verhältnis ändern. Dieses Verhältnis ist der Widerstand R. Je höher der Widerstand ist, desto mehr Spannung brauchen wir, um einen bestimmten Strom hindurch fließen zu lassen.

Es gilt also die Formel:

$$R = \frac{U}{I} \text{ bzw. } U = R \cdot I$$

Um den Wert eines Widerstands abzulesen, müssen wir die Farben der aufgedruckten Ringe interpretieren. Es gibt meistens vier oder fünf Ringe. Bei vier Ringen entsprechen die ersten beiden Farben dem Zahlenwert, der dritte steht für einen Multiplikator, mit dem der Zahlenwert multipliziert wird und der letzte Ring gibt die Herstellungstoleranz an. Bei 5 Ringen ist es ähnlich.

Farbe		1. Ring	2.(3.) Ring	3.(4.) Ring	4.(5.) Ring
		1. Ziffer	2. Ziffer	Multiplikator	Toleranz
	Keine				± 20 %
	Silber			0,01 Ω	± 10 %
	Gold			0,1 Ω	± 5 %
	Schwarz		0	1 Ω	
	Braun	1	1	10 Ω	± 1 %
	Rot	2	2	100 Ω	± 2 %
	Orange	3	3	1 kΩ	
	Gelb	4	4	10 kΩ	
	Grün	5	5	100 kΩ	± 0,5 %
	Blau	6	6	1 MΩ	± 0,25 %
	Violett	7	7	10 MΩ	± 0,1 %
	Grau	8	8	100 MΩ	± 0,05 %
	Weiß	9	9	1 GΩ	

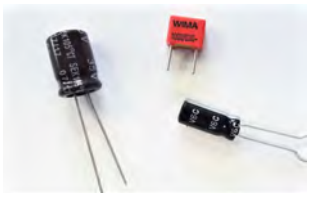
Extrem wichtig !!! Elektroniker haben sich angewöhnt, bei sehr großen Zahlen nicht immer alle Nullen auszuschreiben, sondern sie mit Buchstaben abzukürzen. Statt 120 000 Ω würden sie einfach 120 *k*Ω schreiben, wobei *k* für *kilo* steht und "*tausend mal so viel*" bedeutet, so wie bei *1 kg (1 Kilogramm = 1000 g)*. Es ist in einer Schaltung natürlich nicht egal, ob der Wert eines Widerstands (oder eines beliebigen anderen Bauelements) plötzlich um den Faktor 1000 größer oder kleiner ist!

Bezeichnung		Faktor	
Abkürzung	gesprochen	ausgeschrieben	Potenz
G	*Giga-*	1 000 000 000	10^9
M	*Mega-*	1 000 000	10^6
k	*Kilo-*	1 000	10^3
--------	-------	1	10^0
m	*Milli-*	0,001	10^{-3}
µ	*Mikro-*	0,000 001	10^{-6}
n	*Nano-*	0,000 000 001	10^{-9}

Ein vergessenes oder überlesenes *k* oder *M* ist häufig der Grund dafür, warum unsere aufgebaute Schaltung nicht das tut, was sie tun soll.

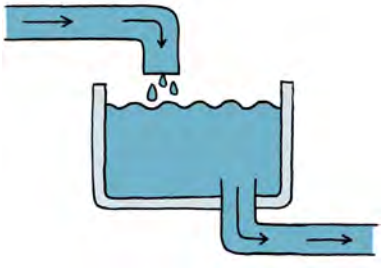
Kondensator

Mit einem Kondensator können wir elektrische Ladungen und damit Energie speichern. Er besteht aus zwei leitenden, voneinander isolierten Flächen, beispielsweise Metallplatten oder -folien. Die *Kapazität C* eines Kondensators ist ein Maß für die Ladung, die er bei einer bestimmten angelegten Spannung speichern kann.



WICHTIG

Ein **Kondensator** speichert Ladungsträger.
Formelzeichen: *C*
Einheit: *F* (Farad) zum Andenken an den Physiker *Michael Faraday*.
Schaltzeichen:



Vorstellen können wir uns den Kondensator als großes Wasserbecken. Auf der einen Seite fließt Wasser hinein und auf der anderen Seite fließt das Wasser heraus, beispielsweise in das städtische Wassernetz. Wenn wir mehr Wasser als gewöhnlich brauchen, dann können wir aus dem Wasserbecken kurzzeitig mehr Wasser entnehmen, ohne dass das Becken gleich austrocknet.

Das Gleiche ist in unserer Schaltung der Fall. Wenn die Batterie nicht genügend Ladungsträger liefert, gibt ein Kondensator seine gespeicherte Ladung ab. Kondensatoren können ganz unterschiedlich aussehen und mehr oder weniger Ladungsträger speichern. Bei Elektrolytkondensatoren (kurz: Elkos) sind die Metallfolien aufgewickelt. Dadurch ergibt sich eine zylindrische Form. Außerdem kann man diese nur in einer bestimmten Richtung in eine Schaltung einbauen, was mit einem Plus gekennzeichnet ist:

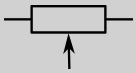
Potentiometer (regelbarer Widerstand)

Ein Potentiometer, auch kurz als Poti bezeichnet, ist ein stetig *regelbarer Widerstand*. Wenn wir an der Achse des Potis drehen, können wir die Größe des Widerstandes verändern.
Für unser Wassermodell würde das heißen, dass wir einstellen können, wie stark der Wasserschlauch zugedrückt wird.

Das Poti besteht aus einem Träger, auf dem ein Widerstandsmaterial aufgebracht ist und einem beweglichen Schleifkontakt, der den Gesamtwiderstand elektrisch in zwei Teilwiderstände teilt. Das Poti ist also ein *Spannungsteiler*.

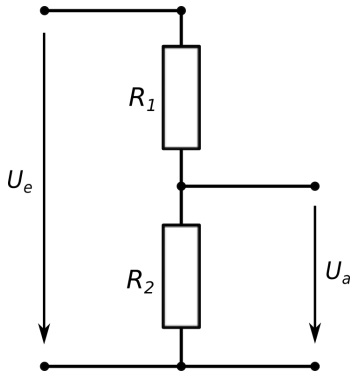
WICHTIG

Ein **Potentiometer** ist ein Widerstand, dessen Größe man verändern kann.
Formelzeichen: R
Einheit: Ω (Ohm) für den maximalen Widerstand des Bauteils.
Schaltzeichen:



Wenn wir selbst Schaltungen entwerfen, müssen wir auch einige Rechnungen durchführen. Zum einen müssen wir aufpassen, dass unsere Bauteile nicht kaputt gehen. Das kann passieren, wenn die Spannung und damit auch die Stromstärke zu groß ist. Zum anderen dürfen die Werte auch nicht zu klein sein, da den Bauteilen dann vielleicht nicht genug Energie zur Verfügung steht.
Dafür schauen wir uns das Prinzip des Spannungsteilers mal etwas genauer an. Dieser Teil ist dann schon etwas für die richtigen Experten!

Ein **Spannungsteiler** teilt, wie der Name schon sagt, die Spannung auf. Man kann ganz unterschiedliche Spannungsteiler benutzen, aber der Standardaufbau besteht aus zwei hintereinander geschalteten Widerständen R_1 und R_2. Die Eingangsspannung U_e wird an die Gesamtschaltung angelegt, die Ausgangsspannung U_a nur an einem der Widerstände (hier R_2) abgegriffen. Dann gilt für diesen speziellen Spannungsteiler die Formel:



$$U_a = U_e * \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Etwas allgemeiner gefasst besagt die Spannungsteilerregel folgendes: In einer Reihenschaltung sind die Spannungsabfälle proportional zu den Widerständen, an denen sie abfallen. Bei einem einstellbaren Widerstand (Potentiometer) kann der Abgriff für U_a auf einem durchgehenden Widerstandskörper verschoben werden, d. h. das Teilungsverhältnis ist dann variabel.

3 Der Synthesizer

Im Gegensatz zu einem akustischen Instrument (z.B. Geige, Klavier) wird ein Ton bei einem Synthesizer auf elektronischem Weg erzeugt. Töne lassen sich als Schwingungen darstellen. In Abbildung 2 siehst du, wie ein einzelner Ton im Zeitverlauf aussieht. Er wird mathematisch durch die Sinusfunktion beschrieben und klingt ungefähr wie eine Stimmgabel. Um den Ton elektronisch zu erzeugen, brauchen wir einen Signalgenerator (auch Oszillator genannt), der eine Schwingung erzeugt. Also eine Spannung, die mit der Zeit größer und kleiner wird (also oszilliert).

Abbildung 1: Modulator Synthesizer

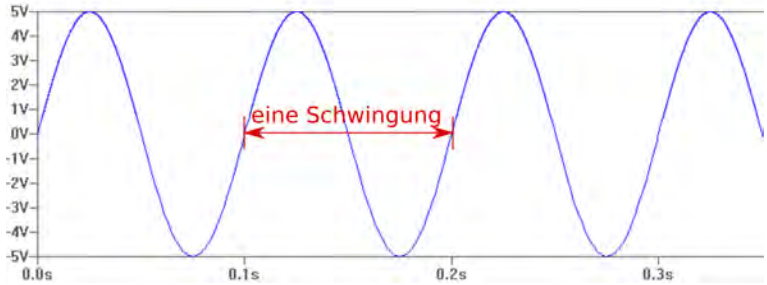


Abbildung 2: Ein einzelner Ton

Wie schnell diese Schwingung ist, bestimmt dann die Höhe des Tones. Die Schnelligkeit und somit Höhe eines Tones heißt *Frequenz* und hat die Einheit *Hertz*, die für $1/s$ also Schwingungen pro Sekunde steht.

> **WICHTIG**
> Die **Frequenz** beschreibt, wie viele Schwingungen ein Ton pro Sekunde hat.
> Formelzeichen: f
> Einheit: Hz (Hertz)

Vergleichen wir den Kammerton das *„eingestrichene“ a* (440 Hz → 440 Schwingungen pro Sekunde) mit dem kleinen a (220 Hz → 220 Schwingungen pro Sekunde) eine Oktave tiefer. Die Abbildungen 3 und 4 zeigen dir die beiden Töne im Diagramm. Beim „eingestrichenen“ a kannst doppelt so viele Schwingungen erkennen.

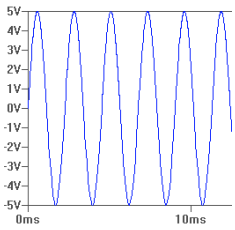


Abbildung 3: $a' = 440\ Hz$

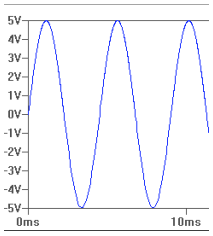


Abbildung 4: $a = 220\ Hz$

Bei einer Oktave schwingt der Ton also genau halb so schnell. Wir merken uns:

> **WICHTIG**
> Ein **Ton** wird durch eine Schwingung erzeugt.
> Je langsamer die Schwingung, umso kleiner ist die Frequenz und desto tiefer klingt der Ton.

Doch wie kann man mit diesen Sinus-Signalen den Klang eines Instrumentes beschreiben? Wenn man z.B. auf einem Klavier einen einzelnen Ton spielt, dann klingt das doch ganz anders als ein Ton einer Stimmgabel!

Das liegt daran, dass bei einem einzelnen Ton eines Klaviers zusätzlich noch ganz leise weitere Töne erklingen. Dies ist bei allen Instrumenten so. Je nachdem welche Töne dabei zu hören sind und wie laut diese sind, unterscheiden sich die Instrumente klanglich. Daher klingt ein „c“ auf einem Saxophon anderes als auf einer Geige, obwohl es doch der selbe Ton ist.
Die zusätzlichen Töne nennt man *Obertöne* und diese sind immer Vielfache des eigentlichen Tons (auch *Grundton* genannt). Spielt ein Instrument einen Grundton mit der Frequenz 100 Hz, können also auch die Obertöne 200 Hz, 300 Hz, 400 Hz usw. entstehen.

Um den Klang eines Synthesizers interessanter zu machen, werden deshalb auch obertonreiche Signale erzeugt. Basis dafür sind ein paar Signale, die mathematisch einfach zu beschreiben sind und elektrisch einfach erzeugt werden können.

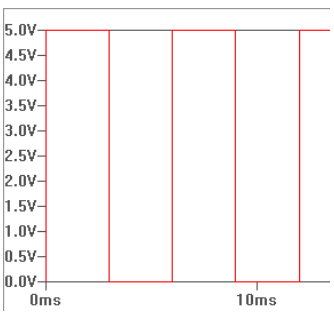


Abbildung 5: Rechtecksignal

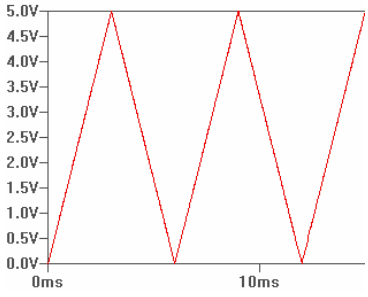


Abbildung 6: Dreieckssignal

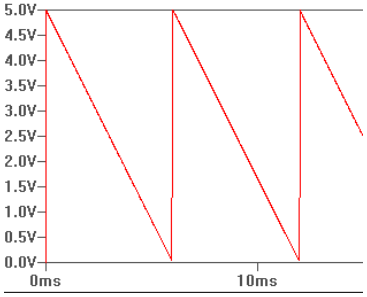


Abbildung 7: Sägezahnsignal

Genauso wie die reine Sinusschwingung kommen diese Signale nicht in der Natur vor. Aber Rechtecksignale werden z.B. gerne als Signaltöne für elektrische Geräte eingesetzt.

> **WICHTIG**
> **Rechtecksignale** sind Schwingungen, die elektrisch einfach erzeugt werden können.

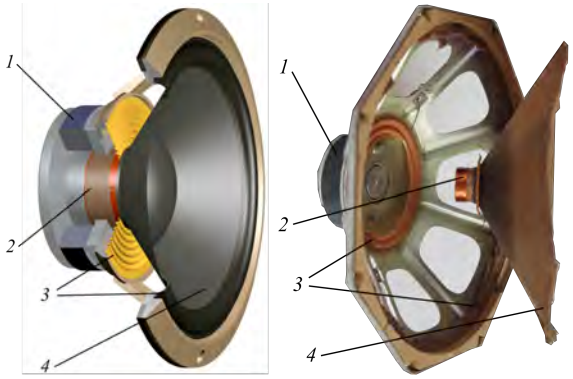
4 Der Lautsprecher

Jetzt erzeugt unser Synthesizer schon Klänge, aber um diese hören zu können, muss ein Lautsprecher angeschlossen werden.

Abbildung 8: Lautsprechermembran

Der Lautsprecher setzt das Signal des Synthesizers (Rechtecksignal) in eine Schwingung einer Membran um, die sich auch genauso nach vorne und hinten bewegt, wie diese Schwingung positiv und negativ wird. Aber wie kann das funktionieren?

Dafür machen wir uns die magnetische Wirkung einer stromdurchflossenen Spule zunutze. Eine Spule ist ein Leiter (meistens Kupferdraht) der mehrfach aufgewickelt wird (vgl. Abbildung 9). Fließt jetzt ein Strom durch die Spule, dann entsteht in und um die Spule ein Magnetfeld. Wo dabei der Nord- und Südpol ist, hängt von der Stromrichtung ab. Da sich zwei Magnetfelder (das der Spule und das vom Magneten) je nach Richtung anziehen oder abstoßen, wird die Spule nach vorne und hinten bewegt. Durch die bewegliche Verbindung der Spule mit der Membran, bewegt sich diese also auch nach vorne und hinten.



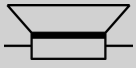
Teile des Lautsprechers	
1	Magnet
2	Spule
3	bewegliche Verbindungen
4	Membran

Abbildung 9: Membran eines Lautsprechers

Diese Bewegung der Membran regt die Luftteilchen in der Nähe an und diese Bewegung der Luftteilchen bringt wiederum unser Trommelfell zum Schwingen. Dieses Signal wird in unserem Ohr zuerst mechanisch durch die Gehörknöchelchen übertragen und schließlich durch winzig kleine Härchen im Ohr als Nervensignal an unser Gehirn weitergegeben.

WICHTIG

Ein **Lautsprecher** wandelt eine elektrische Schwingung in eine mechanische um und erzeugt dadurch für uns hörbare Töne.

Schaltzeichen: 

5 Die Schaltung

Wir haben jetzt schon einiges über die Entstehung von Tönen mit elektrischen Bauteilen gelernt. Diese Bauteile wollen wir nun so zusammensetzen, dass wir aus der Gleichspannung einer Batterie ein Rechtecksignal erzeugen können. Dieses Rechtecksignal kann dann unser Lautsprecher in einen für uns hörbaren Ton umwandeln. Den Ton bzw. die Tonhöhe wollen wir aber manuell (also selbst, per Hand) einstellen können.

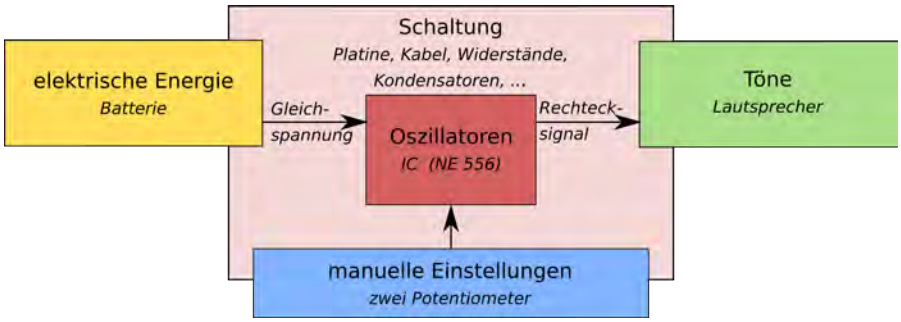
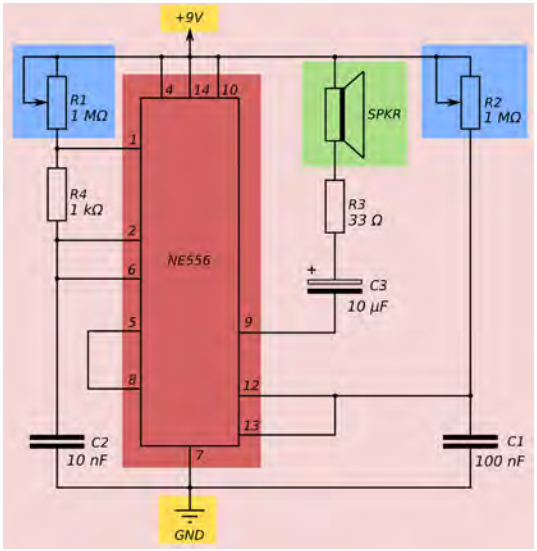


Abbildung 10: *IC*

Das Herzstück unserer Schaltung sind zwei Signalgeneratoren (Oszillatoren), welche zusammen Rechtecksignale erzeugen. Die Frequenz des Signals bestimmt unsere Tonhöhe, diese muss also verändert werden können. Um dafür genauere Einstellungen zu ermöglichen, verbinden wir zwei Oszillatoren mit zwei Potentiometern. Die Oszillatoren befinden sich im integrierten Schaltkreis NE556 (*integrated circuit*, kurz: **IC**). Man nennt dieses Bauteil (s. Abbildung 10) umgangssprachlich auch „Käfer“, da es so viele „Beinchen“ hat, an denen weitere Bauteile angeschlossen werden. Im Schaltplan siehst du, dass der NE556 vierzehn Anschlüsse hat, von denen nur zwölf verwendet werden. Die Anschlüsse 1-6 führen zum ersten Oszillator und 8-13 zum zweiten. An den Anschlüssen 7 und 14 liegt die Versorgungsspannung (beide Pole der Batterie) an, welche für beide Oszillatoren zuständig ist.



Aber jetzt mal etwas genauer! Wie stellen wir denn jetzt die Frequenz unseres Rechtecksignals ein?

Der erste Oszillator ist ein sogenannter astabiler Oszillator, der immer zwischen zwei Zuständen HIGH und LOW (z.B. 9 V und 0 V) wechselt, was genau eine Rechteckschwingung ergibt. Mit dem Potentiometer R1

kann die Frequenz des Rechtecksignals verändert werden. Je größer der Widerstand ist, umso länger benötigt der Kondensator C2 um sich aufzuladen. Diese Zeitdauer bestimmt, wann der Oszillator von HIGH (9 V) wieder auf LOW (0 V) springt. Die Länge des LOW-Wertes wird durch die Größe des Widerstandes R4 bestimmt und bleibt damit immer gleich. In den Abbildungen 11 und 12 sind dabei die Ausgangssignale des ersten Oszillators für Potentiometerwerte R1$=1\ k\Omega$ und R1 $=10\ k\Omega$ dargestellt.

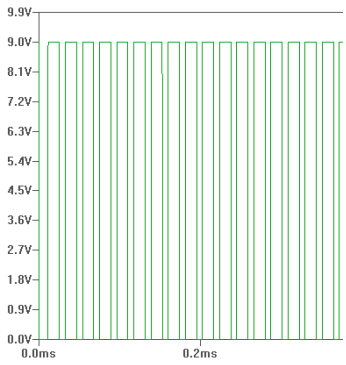


Abbildung 11: Poti R1 $=1\ k\Omega$

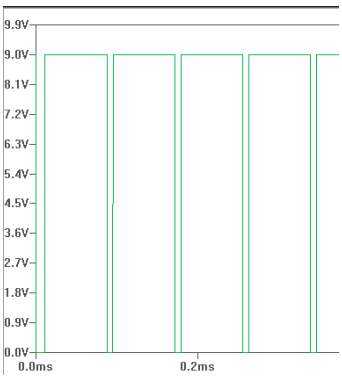


Abbildung 12: Poti R1 $=10\ k\Omega$

Wir erkennen: Je größer der Widerstandswert von R1, desto kleiner ist die Frequenz und desto tiefer wird der Ton.

WICHTIG

Das Poti R1 verändert den Ton, bzw, die Tonhöhe. Je größer der Widerstandswert ist, umso tiefer ist der Ton.

Der zweite Oszillator funktioniert als sogenannter monostabiler Oszillator. Er bekommt das Ausgangssignal des ersten Oszillators (Anschluss 5) als Eingangssignal (Anschluss 8). Immer wenn der erste Oszillator von HIGH auf LOW springt, startet der zweite Oszillator eine Rechteckschwingung (das Signal wechselt von LOW auf HIGH).

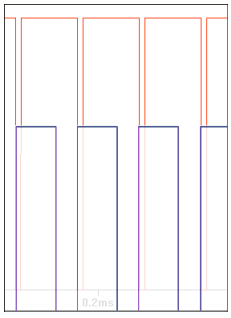


Abbildung 13: Poti R2 $=500\ \Omega$

In der Abbildung 13 sind zur Übersichtlichkeit beide Ausgänge verschoben übereinander dargestellt: rot ist der Ausgang des ersten Oszillators für Poti R1 $=10\ k\Omega$ und blau ist der Ausgang des zweiten Oszillators und somit der Ausgang der gesamten Schaltung (Anschluss 9).
Wir können sehen, dass der Ausgang die selbe Frequenz wie die Rechteckschwingung von dem ersten Oszillator hat. Klar, wir haben die beiden Oszillatoren ja extra so miteinander verbunden. Aber was bringt uns das jetzt? Noch wäre hier der selbe Ton zu hören.

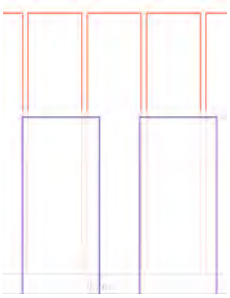


Abbildung 14: Poti R2 = 1 $k\Omega$

In Verbindung mit dem Kondensator C1 können wir die Länge des HIGH-Wertes über die Größe des Potis R2 bestimmen. (Denn wenn sich der Kondensator C1 bis zu einem bestimmten Wert aufgeladen hat, wechselt das Signal wieder zurück auf LOW.) Wird die Länge einer Schwingung größer als die Schwingungslänge des ersten Oszillators, dann halbiert sich die Frequenz des zweiten Oszillators (Abbildung 14). Damit springt der Ton um eine Oktave nach unten. Wird die Länge des HIGH-Wertes noch länger, springt der Ton wieder um eine Oktave nach unten. Dies kannst du auch hören, wenn du an den Potis drehst!

WICHTIG

Das Poti R2 verändert die Oktave. Je größer der Widerstandswert ist, umso mehr Oktavsprünge macht der Ton nach unten.

6 Das Löten der eigenen Schaltung

Wir sind kurz davor unseren Synthesizer endlich zusammen zu bauen. Wir haben die Bauteile, eine Energiequelle und die Schaltung. Zuletzt schauen wir uns nochmal schnell die Leitungen an. Meistens nimmt man Drähte oder Kabel, um zwischen den Bauteilen elektrisch leitende Verbindungen zu ermöglichen. Im Schaltplan siehst du aber, dass wir ganz schön viele Verbindungen brauchen. Damit das leichter wird, können wir eine Platine verwenden.

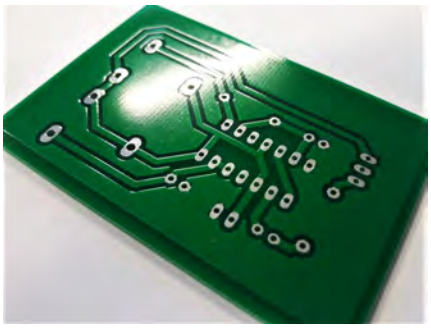


Abbildung 15: Platine

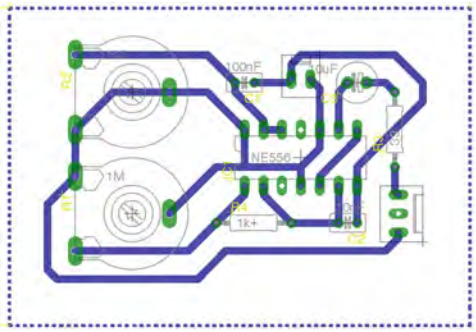
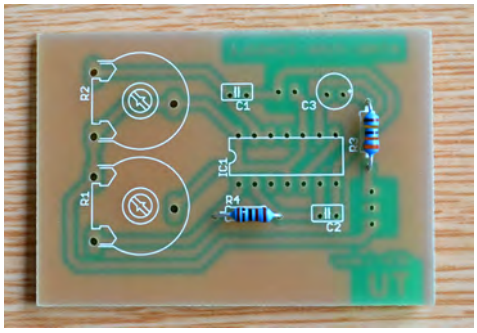


Abbildung 16: Bestückungsplan

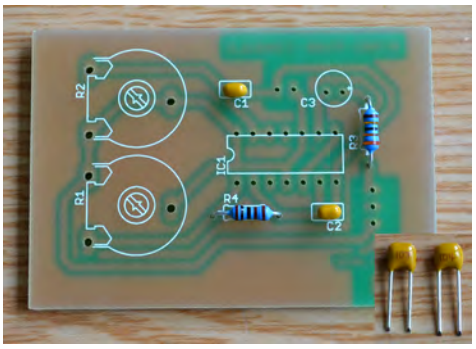
Eine Platine (s. Abbildung 15) ist eine Kunststoffplatte, auf der unsere Verbindungen zwischen den Bauteilen mit einem elektrisch leitendem Material eingeätzt sind. Wir müssen also nur die Bauteile an der richtigen Stelle befestigen, bzw. anlöten. Dafür gibt es den sogenannten „Bestückungsplan“ (s. Abbildung 16).

Nun kann gelötet werden! Jedoch ist es sinnvoll hier auch eine gewisse Reihenfolge einzuhalten.

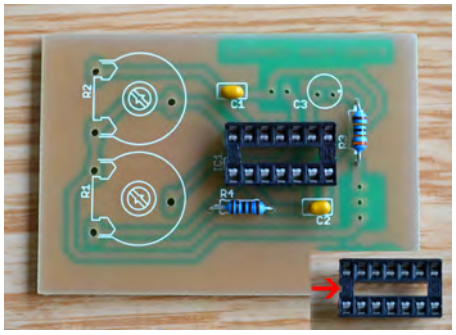
So lötet man z.B. als erstes die kleinen Bauteile ein, die später von den großen Bauteilen versperrt sein werden. Außerdem lötet man zuerst die Bauteile ein, die am meisten Hitze vertragen, sonst kann es passieren, dass ein Bauteil durch zu langes Löten kaputt geht.



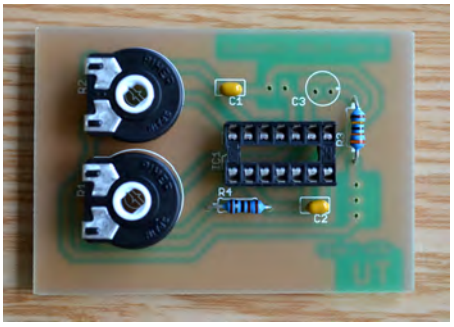
1. Widerstände:
R3: 33 Ω und R4: 1 $k\Omega$



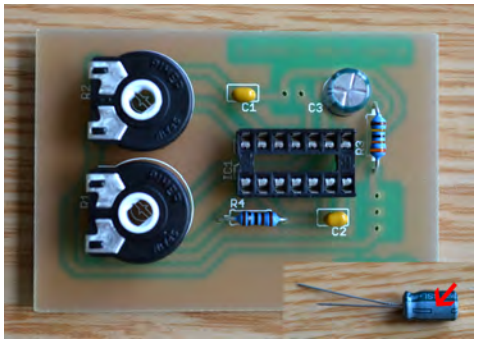
2. Vielschicht-Kondensatoren:
C1: 100 nF und C2: 10 nF
(Hinweis: 100 $nF = 104$, 10 $nF = 103$, für 10 $nF = 10 \cdot 10^3$ pF)



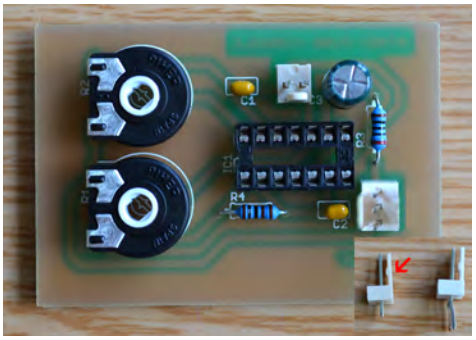
3. 14-poliger Sockel für NE556
Vorsicht bei der Richtung: auf Kerbe achten!



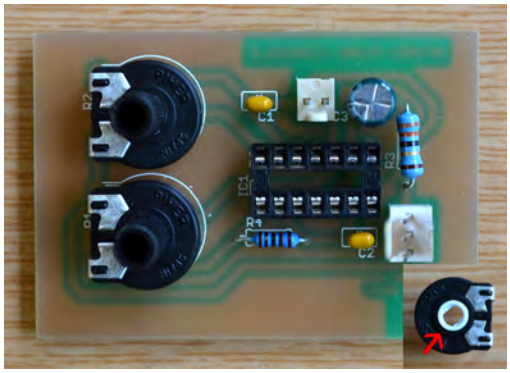
4. Potentiometer:
R1: 1 $M\Omega$ und R2: 1 $M\Omega$



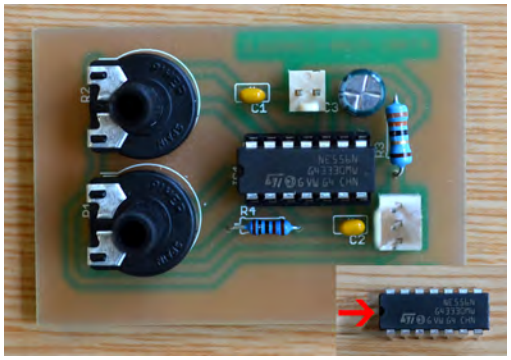
5. Elektrolyt-Kondensator (ELKO):
C3: 10 μF
Vorsicht bei der Richtung: ein Minus ist auf dem Bauteil aufgedruckt.



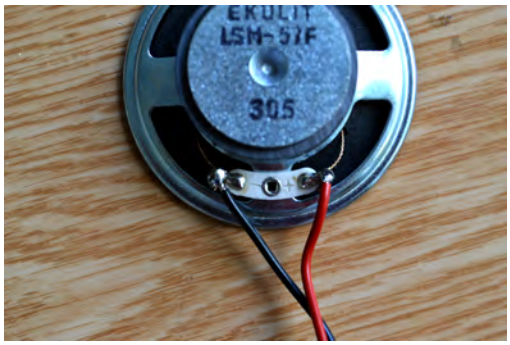
6. Platinenstecker:
S1: zweipoliger Stecker für Batterie
S2: dreipoliger Stecker für Lautsprecher
Vorsicht bei der Richtung!



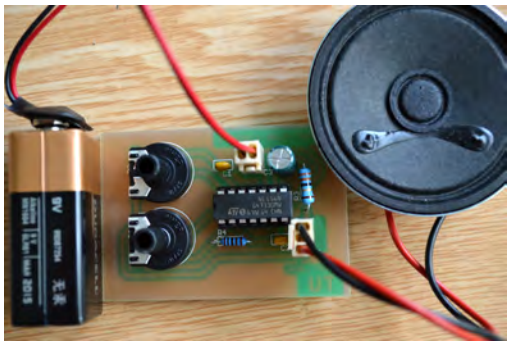
7. Potiachsen in Potis stecken:
Ovale Form der Achsen und der Bauteilöffnung beachten!



8. NE556 auf Sockel stecken:
Vorsicht bei der Richtung: auf Kerbe achten!



9. Kabel mit Platinensteckerbuchse an Lautsprecher löten:
Das mittlere Kabel wird nicht benötigt. Wenn es vorhanden ist, einfach kurz über der Buchse abknipsen!
Rot an +, Schwarz an –



8. Batterie und Lautsprecher mit Kabeln mit der Platine verbinden:
Fertig!

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Synthesizer, Seite 6:
The original uploader was Kimi95 at Italian Wikipedia. [CC BY 3.0]. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Moog_Modular_55_img2.jpg

Abbildung 9 Lautsprecher Aufbau, Seite 8:
Patrick.Nordmann [CC BY-SA 4.0]. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lautsprecher_Aufbau.jpg (Bild beschnitten, Beschriftung hinzugefügt);
Svjo [CC BY-SA 3.0]. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Loudspeaker-bass.png